

## 仮想計算機におけるディスク入出力性能の比較 Comparison of I/O Performance on Virtual Machines

佐藤 将也      谷口 秀夫      鵜島 匠  
Masaya Sato    Hideo Taniguchi   Takumi Ushima

### 1. はじめに

計算機資源を効率的に利用するために仮想計算機 (Virtual Machine, 以降 VM) が利用されている. 仮想計算機モニタ (VM Monitor, 以降 VMM) は, VM にプロセッサやメモリおよび入出力を割り当て制御することで, 1 台のベアマシンで複数の VM を動作可能にする. プロセッサに比べ入出力の性能は低く, VMM は VM からの要求をもとに入出力処理を行うため, VM の性能への影響が大きい. また, VM の構成方法は VMM により異なり, 入出力性能も異なる. そこで本稿では, 複数種類の VMM におけるディスク入出力性能を評価し, 比較した結果を報告する.

### 2. 仮想計算機の構成

評価に用いる VM の構成を図 1 に示す. VMM は, Xen, VMware Workstation, KVM, および bhyve を用いる. それぞれの特徴を以下に示す.

#### (1) Xen [1]

- (A) ハードウェア上で直接動作
- (B) 管理用の VM (以降, 管理 VM) を 1 つ持ち, 管理 VM 以外の VM による入出力は, VMM を介して管理 VM が実行

#### (2) VMware Workstation [2]

- (A) ホスト OS のアプリケーション(以降, AP)として動作
- (B) VM による入出力は VMM を介して実行

#### (3) KVM [3]

- (A) ホスト OS のカーネルモジュールとして動作
- (B) ホスト OS (Linux) の AP (KVM 用に拡張した QEMU) が VM の発行する命令や入出力を実行

#### (4) bhyve [4]

- (A) ホスト OS のカーネルモジュールとして動作
- (B) ホスト OS (FreeBSD) の AP (bhyve) が VM の発行する命令や入出力を実行

Xen, VMware Workstation, および KVM または bhyve の

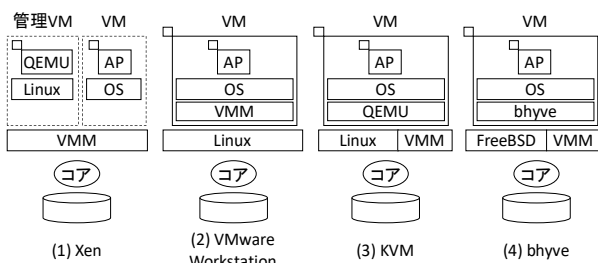


図 1 評価に用いる仮想計算機

岡山大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

比較により, VM の構成による入出力性能への影響を評価する. また, KVM と bhyve を比較することで, 同種の VMM を用いた際の VMM による入出力性能への影響を評価する. Xen では, Intel VT-x による完全仮想化を用いた.

### 3. 評価

#### 3.1 目的

評価の目的を以下に示す.

- (1) VM におけるディスク入出力性能を明らかにすること  
ベアマシンと VM でディスク入出力性能を比較することで, 仮想化による入出力性能への影響を明らかにすること
- (2) VM の構成によるディスク入出力性能の差異を明らかにすること

2 章で述べた 4 種類の VMM を用いて VM の構成方法による入出力性能への影響を明らかにする.

#### 3.2 観点と方法

評価の観点を以下に示す.

- (1) 仮想化の有無による処理性能の違い  
ハードウェアの仮想化や VMM の介在によりベアマシンと VM で処理性能に差異があると考えられる. このため, ベアマシンと VM の処理性能の違いを評価する.
- (2) VMM の構造による処理性能の違い  
VMM の構造により入出力の方法は異なる. このため, VMM の構造による入出力性能の違いを評価する.
- (3) シングルコアとマルチコアにおける処理性能の違い  
VMM は VM に CPU を割り当てる. このとき, 割り当てるコア数によって処理に違いが出ると考えられる. このため, シングルコアとマルチコアにおける処理性能の違いを評価する.
- (4) 走行させる VM 数による処理性能の違い

1 台のベアマシン上で複数の VM を実行できる. 計算資源を VM ごとに分割したとしても, 入出力処理では VMM が介在する必要がある. このため, 同時に走行させる VM 数の増加により, 入出力性能は低下すると考えられる. そこで, 走行させる VM 数による処理性能の違いを評価する.

評価では, ベアマシンと 2 章で述べた 4 種類の VMM を用い, コア数 (1 コア / 2 コア) と VM 数 (1 VM / 2 VM) による入出力性能を比較する. 入出力処理は, RAW デバイスに対するランダム読み込みとランダム書き込みとした. 入出力サイズは 4 KB とした. また, 測定プログラムのみでは性能の差異が出にくいと考えられるため, 測定プロセスに加えて負荷プロセスを走行させた. 負荷プロセス数は 0, 2, および 4 とした. なお, 2 VM を用いた評価では, 同時に走行する 2 VM のうち, 一方の VM で測定を行った. 測定プロセスは, RAW デバイスに対して, ランダム読み込みおよびランダム書き込みを 100 回行い, 1 回ごとの処理時間を測定した.

評価には、Intel Xeon E5-2609 v4 (1.7 GHz, 8 コア), メモリ 32 GB, HDD Western Digital WD1005FBYZ (SATA600, 7,200 rpm, 128 MB キャッシュ) を搭載した計算機を用いた。ベアマシンと VM の OS は FreeBSD 11.0-RELEASE (64bit) を用いた。Xen の管理 OS, および VMware Workstation と KVM のホスト OS は Debian 9.0.0 (Linux 4.9.0 (64bit)) を用いた。bhyve では利用できるホスト OS に制約があるため FreeBSD 11.0-RELEASE を用いた。VM には 1 GB のメモリを割り当て、仮想ディスクは 16 GB の単一ファイルとした。

### 3.3 結果

特長が大きく表れた測定結果 (ランダム読み込み, 負荷プロセス 2 個) を図 2 に示し, 以下で説明する。

#### (1) 仮想化の有無

ベアマシンにおける処理時間の最大値は, 各 VMM における処理時間の最大値と比較して 2 倍以上大きい。これは, VM における RAW デバイスへの入出力処理は, 管理 VM の OS やホスト OS のバッファキャッシュが有効に働き, 処理時間が短くなったためである。

#### (2) VMM の構造

(A) Xen の測定結果は, 他の VMM の測定結果より処理時間が短く, 最大値と最小値の差が小さい。これは, Linux に搭載されている準仮想化ドライバによるものと考えられる。

(B) KVM の測定結果は, bhyve と比較して最大値と最小値の差が大きい。このことから, VMM の構造が同様でも, 実装方法により入出力性能に差が生じると推測できる。

#### (3) シングルコアとマルチコア

Xen と bhyve について, 1 コア/1 VM と 2 コア/1 VM の場合で比較すると, 1 コア/1 VM の方が処理時間の平均値が小さい。一方, VMware Workstation と KVM ではこの傾向は見られなかった。このことから, 一部の VMM において, 負荷が大きい処理を行うときには, シングルコアの方がマルチコアよりも処理性能が高くなる場合があることが分かる。

#### (4) 走行させる VM 数

各種 VMM について, 2 コア/1 VM と 2 コア/2 VM の場合の測定結果を比較すると, 処理時間に大きな差はなかった。このことから, 測定対象以外の VM における負荷が小さい場合には, VM 数を増加させても入出力性能への影響はほとんどないことが分かる。

また, KVM では, 極端に処理時間が増加する場合があった。特に, 1 コア/1 VM のランダム書き込みにおいて, 最大値が 10ms 程度になる場合があった。この原因を調査するために, KVM において, 1 コア/1 VM/負荷プロセス 0 個の場合について, ホスト OS をシングルユーザモード, マルチユーザモード, およびマルチウィンドウモードで起動した場合で測定を行った。測定結果を図 3 に示し, 以下で説明する。

#### (5) ホスト OS のランレベル

シングルユーザモードとマルチユーザモードでは, 処理時間に大きな違いはなく, マルチウィンドウモードの場合のみ, 処理時間の最大値が極端に大きくなる。これは, マルチウィンドウモードにおいて, VMM 以外に多くのプロセスがホスト OS で動作するためであると推測する。

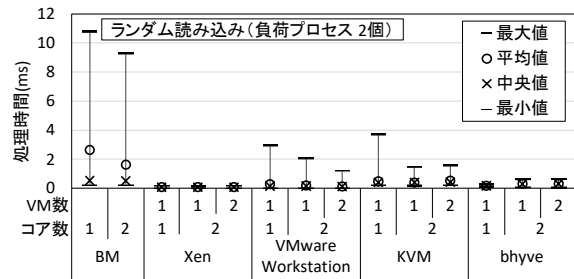


図 2 ランダム読み込み時間 (負荷プロセス 2 個)

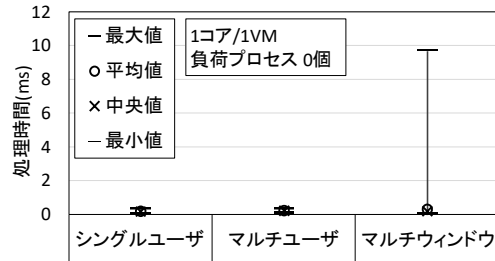


図 3 KVM におけるホスト OS のランレベルごとの処理時間 (負荷プロセス 0 個)

## 4. おわりに

ベアマシンと各種 VMM で動作する VM において, ディスク入出力の処理性能を評価した結果を述べた。評価では, RAW デバイスに対するランダム読み込みとランダム書き込みの処理性能を比較した。

評価結果より, ベアマシンと VM では, ホスト OS や管理 VM の OS におけるバッファキャッシュにより, VM の処理時間が短い傾向であった。また, Xen では, Linux の準仮想化ドライバにより, 他の VMM に比べて処理時間が短い傾向があった。KVM は, ホスト OS をマルチウィンドウモードで動作させた際に, VMM 以外に多くのプロセスが動作する影響で, 処理性能が極端に低下する場合があることを示した。シングルコアとマルチコアによる処理性能の違いでは, Xen と bhyve において処理負荷が大きいときに, シングルコアがマルチコアより高速な場合があることを示した。走行させる VM 数による処理性能の違いでは, 各種 VMM で VM 数を 2 つに増やした場合にも処理性能に大きな差はないことを示した。

### 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP18K08151 の助成を受けたものです。

### 参考文献

- [1] P. Barham, B. Dragovic, K. Fraser, S. Hand, T. Harris, A. Ho, R. Neugebauer, I. Pratt, and A. Warfield, "Xen and the art of virtualization," ACM SIGOPS Operating Systems Review, Vol. 37, No. 5, pp. 164-177 (2003).
- [2] VMware, "VMware Workstation Pro," <https://www.vmware.com/products/workstation-pro.html> (accessed 16-April-2019).
- [3] KVM contributors, "Main Page - KVM," [https://www.linux-kvm.org/index.php?title=Main\\_Page&oldid=173792](https://www.linux-kvm.org/index.php?title=Main_Page&oldid=173792) (accessed 16-April-2019).
- [4] M. Dexter and the bhyve development team, "bhyve - The BSD Hypervisor," <http://bhyve.org/> (accessed 16-April-2019).